心理学报 2019, Vol. 51, No. 7, 772−780
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2019.00772

注意范围分布对视觉工作记忆巩固过程的影响*

张 頔 郝仁宁 刘 强
(辽宁师范大学脑与认知神经科学研究中心，大连 116029)

摘 要 以往研究发现个体能够同时巩固一定数量的项目信息进入视觉工作记忆系统。本研究将考察视觉工作记忆的巩固容量是否会受到分配到记忆项目上的注意资源量的影响。实验 1 在同时序列掩蔽范式的基础上，用控制记忆项目呈现区域的大小的方法操纵被试的注意范围，从而达到操纵分配到单个项目上的注意资源量的目的。研究结果显示，被试的记忆成绩随着注意范围的扩大显著降低，但在并行和序列呈现条件之间不存在显著差异；实验 2 则证实实验 1 中对注意资源量分配的控制不会影响对项目的知觉编码效率。本研究结果表明，分配在记忆项目上的注意资源量能够影响记忆巩固的效率，但不会影响巩固容量。

关键词 视觉工作记忆巩固；并行加工；序列加工；注意范围；巩固容量
分类号 B842.3

1 引言

视觉工作记忆系统负责视觉信息的短期保持和操作，与人类的多种高级认知加工能力密切相关，它使得人们在面对纷繁复杂的信息时，能够暂时存放与当前任务相关的信息，用于后续的认知加工(Baddeley, 2000; 2012)。个体面对复杂场景刺激时，将有大量的视觉信息进入到视网膜，并在大脑初级视觉皮层进行表征。但是，这样的感觉表征是脆弱的，转瞬即逝的(Sperling, 1960)。为了使其更稳定并且不易受其他信息的干扰，大脑将脆弱的知觉表征转换成稳定的视觉工作记忆表征，这一转换过程被称为视觉工作记忆巩固(Potter, 1976; Chun & Potter, 1995; Jolicoeur & Dell'Acqua, 1998; Vogel, Woodman, & Luck, 2006)。作为形成视觉工作记忆表征的重要环节，研究视觉工作记忆巩固的加工机制，对于理解视觉工作记忆系统的存储机制有着重要的意义。

Vogel 等人(2006)首次利用带掩蔽的变化觉察任务(masked change detection task)探讨巩固时间进程的相关问题。实验中，研究者以简单视觉刺激为记忆材料，首先呈现记忆阵列 100 ms，要求被试对其中呈现的项目进行记忆；一段时间空屏间隔后在刺激阵列相同位置呈现掩蔽刺激阵列(掩蔽阵列的主要作用为阻断感觉表征被巩固进入到视觉工作记忆中的过程；Vogel et al., 2006) 200 ms，随后进行一段时间的保持并进行探测，被试需要判断探测阵列与记忆阵列是否相同。实验调控了记忆项目的数量以及记忆阵列与掩蔽阵列之间的 SOA (stimulus onset asynchrony)。结果发现被试记忆的正确率随 SOA 的增加逐渐提高，直至不再发生改变；需要同时记忆的项目数量越多，记忆成绩趋于稳定所需要的时间越长。作者认为该结果表明，记忆项目是以序列巩固的模式被巩固进入工作记忆系统中的，每次能够同时巩固的最大项目数量，即巩固容量为一项。

但实际上，Vogel 等人(2006)的实验设置以及结果并不能严格证明个体的巩固容量为一项。被试也可能以更高的容量单次同时巩固有限个项目，当需要巩固的项目总数超过巩固容量时，被试需要进行多次巩固，也就需要更长的时间。利用掩蔽条件下的同时−序列范式(masked simultaneous-sequential

收稿日期: 2018-05-17
* 国家自然科学基金项目(31571123)资助。
郝仁宁和张頔为共同第一作者。
通信作者: 刘 强, E-mail: lq780614@163.com

paradigm)能够对巩固容量问题进行有效探究。该范式随机以同时或序列的方式呈现总数相同的多个视觉记忆项目, 并分别在记忆项目消失后呈现掩蔽阵列, 然后进行探测, 并记录不同呈现方式条件下被试的反应成绩。实验范式的关键控制在于, 每次记忆项目的呈现时长被设定为仅允许个体完成单次巩固过程的最短巩固时长, 该时长是在正式试验之前通过预实验测定的使单个项目记忆正确率达到 80%的记忆项目呈现时长。实验的逻辑是, 所有以最短巩固时长序列呈现的项目都将被有效巩固进入视觉工作记忆中; 但对于最短巩固时长内同时呈现的多个记忆项目, 只有不大于巩固容量个项目被同时巩固进入视觉工作记忆系统中。因此, 当呈现的记忆项目总数小于巩固容量时, 同时呈现和序列呈现的记忆成绩将没有差异; 否则, 序列呈现的记忆成绩将显著高于同时呈现的记忆成绩(Scharff & Palmer, 2008; Scharff, Palmer, & Moore, 2011a; 2011b)。

Huang 等人发现, 颜色信息在序列呈现条件下的正确率显著高于同时呈现条件, 该结果表明颜色信息的巩固容量似乎只有一项(Huang & Pashler, 2007)。但 Mance 等人认为, 在 Huang 等人的实验中, 同时呈现条件下的视觉刺激彼此过于靠近, 引起生理和行为上的竞争效应, 但序列呈现条件下不存在竞争效应的影响, 导致同时呈现条件下实验成绩显著低于序列呈现条件的成绩。当 Mance 等人移除掉这些干扰因素, 并将记忆项目呈现的时间设置为最短巩固时间时, 发现被试在序列和同时呈现两个色块时的记忆成绩并没有显著差异, 但是当记忆项目数量继续增加时, 序列呈现的成绩则表现出优势。由此可推测出, 颜色信息的巩固容量为两项(Mance, Becker, & Liu, 2012)。随后, 当研究者们利用相同的实验范式, 以光栅为材料对方向信息的巩固过程进行探讨时发现, 记忆两个光栅的方向时, 序列呈现的记忆成绩显著高于同时呈现, 表明方向信息的巩固容量为一项(Becker, Miller, & Liu, 2013; Liu & Becker, 2013)。Hao, Becker, Ye, Liu 和 Liu (2017)利用脑电 CDA 幅值能够反映当前视觉工作记忆中保持的项目数量这一特性, 以该指标对以上结论进行了更直接的验证。在他们的实验中, 三种负荷的记忆阵列(1, 2, 4 项)随机呈现, 呈现时长为最短巩固时间。他们发现, 对于颜色信息, 记忆同时呈现 2 项的 CDA 幅值显著大于记忆 1 项的 CDA 幅值, 但与记忆 4 项的 CDA 幅值没有显著差异; 但方向信息在三种记忆项目数量条件下所诱发的 CDA 幅值没有显著差异。该结果表明, 在最短巩固时间内同时呈现的多个记忆项目, 颜色信息的巩固容量为两项, 方向信息的巩固容量为一项(Hao et al., 2017)。以上结果一致表明, 巩固容量存在特征差异。

除视觉特征差异外, 李腾飞等人的研究发现, 巩固容量还会受到记忆项目间空间距离的影响(李腾飞, 马楠, 胡中华, 刘强, 2017)。他们在实验中设置三种不同的空间距离(视角距离分别为 4.6°, 8.5°和 11.1°), 以比较当记忆项目空间距离发生变化时, 个体在同时和序列呈现条件下记忆成绩的差异。实验结果显示, 对于颜色信息, 当两个项目之间的空间距离较大时(视角距离为 11.1°), 同时呈现条件下的正确率显著低于序列呈现条件的正确率, 但却显著高于序列巩固的理论正确率。该结果表明当两个颜色信息间的距离较大时, 部分试次中巩固表现出序列的加工方式。作者认为, 空间距离变化对分配在记忆项目上的注意资源量产生影响, 因此影响了巩固容量。当同时呈现的两个项目距离较远时, 被试需要将注意资源分配到较大的范围内, 此时单位面积上分配到的注意资源量将变少。当分配到单个项目上的注意资源量低于同时巩固两个项目所需要的资源时, 巩固容量将会下降。值得注意的是, 这一解释仅仅是作者的假设, 实验本身并没有直接操控注意范围来检验分配在记忆项目上注意资源量的变化是否对巩固过程产生影响, 而是推测两个项目间的空间距离发生变化能引起注意资源分配的变化。实际上, 他们的实验设置并不严格满足注意资源的聚焦模型(zoom-lens model)。聚焦模型认为, 个体的注意资源总量恒定, 并且随着注意范围的变化而灵活分配。当注意范围较大时, 注意范围内部单位面积上分配到的注意资源量较少, 个体对注意范围内的记忆项目加工程度比较低; 当注意范围较小时, 注意范围内单位面积上分配到的注意资源量较多, 个体对注意范围内记忆项目的加工程度相对较高(Eriksen & James, 1986); 而在李腾飞等人(2017)的实验中, 他们将所有记忆项目都呈现在以注视点为圆心的虚拟圆上, 且呈现时间是最短巩固时间, 平均只有 60 ms 左右。因为时间短, 所以个体在完成任务的过程中注意焦点难以从屏幕中央注视点转移到其他位置上, 导致被试的注意区域不发生变化。因此根据注意资源的聚焦模型可知, 仅改变两项目空间距离不能影响个体分配在单个记忆项目上的注意资源量。所以远距离(11.1°)条件下的成绩下降很可能是距离变化的影响, 与注意范围以

及分配在记忆项目上注意资源量的改变没有关系。

在本研究中，我们将在同时–序列范式的基础上，通过控制注意范围的大小调控注意资源的分配，直接考察分配在记忆项目上注意资源量的变化能否影响巩固容量。实验让被试记忆两个颜色项目，记忆项目被随机呈现在以注视点为中心较大的圆形区域内(大注意范围)或者较小的圆形区域内(小注意范围)，呈现时间为最短巩固时间。我们假设刺激呈现的分布区域将影响被试的注意范围，实现对注意资源量分配的直接操控。这种方法的优点在于，两个项目呈现在同一圆周上，所以到屏幕中央的距离相等；虚拟圆周的大小是随机的，保证被试需要始终将注意焦点保持在屏幕中央；最关键的控制是，因为出现在相同大小圆周上的两项空间距离保持恒定，所以不论同时或者序列呈现，两个项目上分配到的注意资源量始终相等，而当注意范围改变的时候，两个记忆项目上分配到的注意资源量又能在保持相等的基础上共同变化。

我们预测，如果注意资源量能够影响巩固容量，那么当注意范围扩大时(大同心圆条件下)，注意资源总量不变，但分布范围变广，分配到每个项目上的注意资源量减少，导致在最短巩固时间内被试不能同时巩固两个项目，造成巩固容量的下降，此时序列方式呈现下的正确率将显著高于同时呈现条件的正确率；在注意范围较小的情况下(小同心圆条件下)，分配到每一个项目上的注意资源量较多，两个颜色项目可以同时被巩固，因此，序列呈现条件与同时呈现条件的正确率将不存在显著差异。相反，如果注意资源量不影响巩固容量，那么在任何注意范围下，两个颜色信息均能被同时巩固。此时，两种呈现方式的正确率不会出现显著差异。

2 实验 1：注意范围大小对视觉工作记忆巩固的影响

2.1 研究方法

2.1.1 被试

30 名被试(女性 22 名，男性 8 名)，均为辽宁师范大学的本科生或研究生，平均年龄 21.8 岁。所有被试知情并自愿加入本实验，视力或矫正视力正常且无色觉障碍，实验后给予报酬。

2.1.2 实验材料

实验程序通过 E-prime 2.0 编制，刺激材料呈现在 17 吋 CRT 显示器上(分辨率 1024×768，刷新频率 100 Hz)，要求被试眼睛距显示器 60 cm。记忆项目为正方形色块(视角：0.68°×0.68°)，其颜色在 6 种初始颜色(红：233, 0, 0；绿：30, 138, 18；蓝：26, 49, 178；橙：210, 85, 7；黄：231, 228, 66；紫：156, 0, 158)中随机出现。实验通过两个圆心在屏幕中央，但直径(视角直径：大圆 16°，小圆 9°)和灰度(大圆：45, 45, 45，小圆：60, 60, 60)均不相同的背景圆划分记忆项目所呈现的区域。背景圆、记忆项目、掩蔽刺激与探测刺激均呈现在灰色(30, 30, 30)的背景下。

2.1.3 主任务程序

图 1 为实验流程图。序列呈现条件下，首先在背景中央位置呈现一个灰色(195，195，195)的中央注视点(“+”) 300 ms，注视点之后在相应的区域内呈现第一个记忆项目，呈现时间为最短巩固时间 MT (由下文中刺激呈现阈限的程序测定)。记忆项目之后呈现 100 ms 的掩蔽刺激，且呈现位置与第一个记忆项目相同。接着为 500 ms 的空屏(空屏时仅在屏幕中央呈现注视点)，之后呈现第二个记忆项目(呈现时间与第一个记忆项目相同)，紧接着同样呈现 100 ms 的掩蔽刺激，其位置与第二个记忆刺激相同，随后呈现 500 ms 的注视点。最后会在记忆项目呈现的两个位置中随机呈现一个探测项目(两个位置各占 50%)，2000 ms 后或直至被试做出反应后消失。被试的任务是判断探测项目的颜色与之前呈现在该位置上的记忆项目的颜色是否相同。如果探测项目的颜色与该位置上记忆项目的颜色相同，按 F 键，如果不同，按 J 键，其中相同与不同各占整个实验的 50%。两个试次之间有 500 ms 的空屏。整个实验的过程中，除了掩蔽刺激消失之后的保持阶段，均有划分记忆项目呈现区域的背景圆呈现(如图 1)。同时呈现条件下的实验流程与序列呈现基本相同，除却两个记忆项目与两个掩蔽刺激分别同时呈现，且掩蔽刺激呈现位置与记忆项目位置相同。另外，为了匹配该条件下记忆项目的保持时间与序列呈现时第一个记忆项目的保持时间相同，掩蔽刺激之后会呈现 1000 ms 的注视点。整个实验过程中被试需要紧盯中央注视点，同时要求被试在保证正确率的前提下进行反应，对反应速度不做任何要求。

实验为 2(注意范围：小，大) × 2(呈现方式：序列，同时)的被试内设计。不同注意范围与呈现方式均分 block 进行，实验中各个条件的顺序在被试间进行平衡。被试在不同的注意范围内各完成 16 个试次的练习实验(序列与同时呈现各 8 个试次)，以确保了解实验要求但不计入最后统计分析。之后共

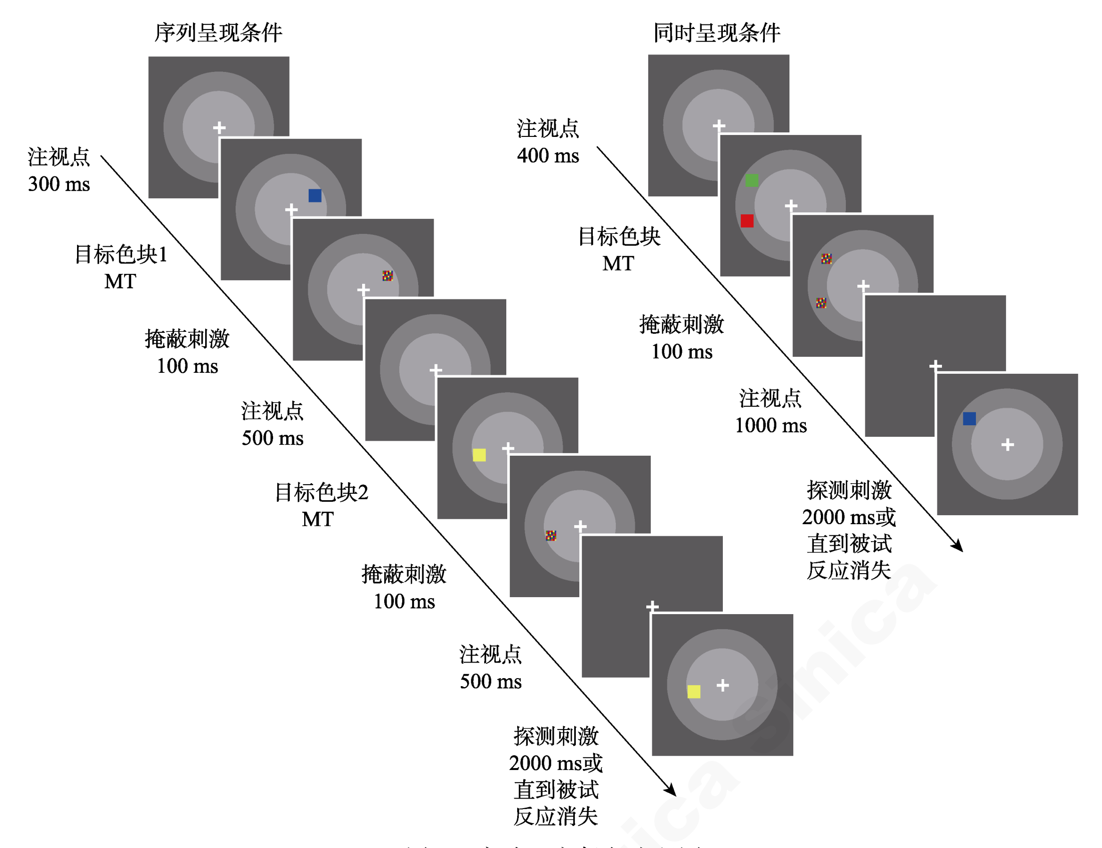


图 1　实验 1 主任务流程图

注：图 1 显示实验 1 主任务流程图，图中分别为序列呈现(左)与同时呈现(右)的情况

完成 8 个 block 的实验(在两个注意范围内，序列和同时呈现的实验各 2 个 block)，每个 block 包括 64 个试次，每个条件 64 个试次。实验在每个 block 开始时会呈现大或小提示线索，当提示线索为大范围时，在这一 block 内的所有试次，两个记忆项目将被随机呈现在以注视点为圆心视角直径为 8°的虚拟圆周上或视角直径为从 10°到 15°随机挑选的虚拟圆周上(各占 50%)；当提示线索为小范围时，在这一 block 内的所有试次，两个记忆项目将被随机呈现在以注视点为圆心视角直径为 8°的虚拟圆周上或视角直径为 5.2°到 7.9°随机挑选的虚拟圆周上(各占 50%)。对于在每个试次呈现的两个项目，两项目之间距离为该虚拟圆周直径的 80%，呈现位置在虚拟圆上随机选择。实验只分析记忆项目呈现在视角直径为 8°圆周上(两个项目之间的空间距离为 6.4°)的情况。

2.1.4　刺激呈现阈限测定

主任务之前每名被试需要完成 3 个 block (各 72 个试次)序列呈现条件的实验，用于测量刺激呈现的阈限时间，以便确定每名被试巩固单个颜色项目所需要的最短时间。其中记忆项目只呈现在视角直径为 8°的虚拟圆周上(因为主任务只分析在不同注意范围内记忆项目呈现在视角直径为 8°圆周上的情况)。为了防止熟悉性对实验结果产生干扰，本实验只对后两个 block 进行统计分析。记忆项目的呈现时间共有 8 种可能(10 ms、20 ms、40 ms、80 ms、140 ms、220 ms、320 ms 和 440 ms)等概率随机呈现，每种呈现时间各 18 次。分别计算被试在 8 种呈现时间条件下的反应正确率，并将其代入以下函数中：$pc = \delta + \gamma(1-e^{-\beta t})$，该公式是正确率 pc 和项目呈现时间 t 之间的一个函数关系，在三个自由参数 δ，γ 和 β 的组合下，能够拟合出最接近被试正确率 pc 和呈现时间 t 之间关系的一个函数，得到正确率为 80%时所对应的项目呈现时间 t，用于主任务中(Becker et al., 2013)。

2.2　结果与讨论

记忆项目的平均呈现时间为 59 ms (范围为 20~121 ms, SD = 27 ms)。被试在各个条件下的反应成绩如图 2 所示，并对其进行 2(注意范围：小，大) × 2(呈现方式：序列，同时)的重复测量方差分析。结果发现注意范围主效应显著，$F(1, 29) = 16.37$, $p = 0.0004$, $\eta_p^2 = 0.36$；呈现方式主效应不显著，$F(1, 29) = 2.36$, $p = 0.135$；注意范围与呈现方式之间无交互作用，$F(1, 29) = 0.11$, $p = 0.738$。

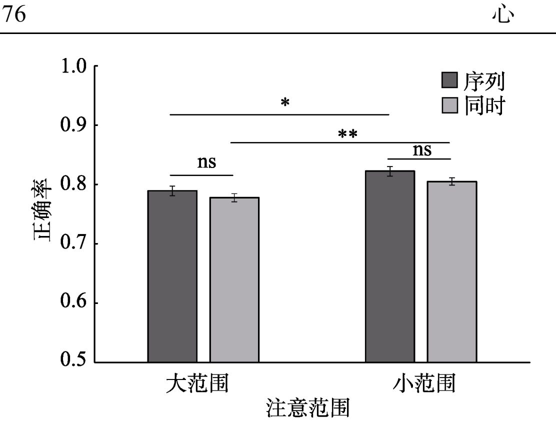


图 2 实验 1 结果

注：图 2 显示实验 1 结果，误差线表示被试内标准误差(根据 Cousineau (2005)的方法估计所得)。大注意范围(左)与小注意范围(右)条件的反应正确率，“*”表示 $p < 0.05$，“**”表示 $p < 0.01$。

实验结果表明，随着注意范围的扩大，记忆项目呈现方式的不同没有对任务成绩造成显著影响，说明个体的巩固容量不随记忆项目上分配的注意资源量的变化而改变，始终保持为两项。同时，该结果与以往关于注意范围等级效应的研究一致，均发现在注意范围较大时被试反应的正确率更低(Song, Gao, & Luo, 2004；高文斌，罗跃嘉，魏景汉，彭小虎，卫星，2002)。表明本实验通过不同大小的同心圆调控注意范围的操作是有效的。但在完成带掩蔽的变化觉察任务的过程中，视觉系统首先需要对记忆项目进行知觉编码，再将知觉编码巩固进入视觉工作记忆系统中，使其不受掩蔽刺激的干扰(Vogel et al., 2006；孙慧明，傅小兰，2011)。

基于以上的加工过程可知，分配在记忆项目上的注意资源量的变化只要对其中任何一个过程产生影响，就有可能造成正确率的变化。在本实验中，我们还不能够排除注意资源量影响知觉编码造成正确率发生变化。因为如果知觉编码受到了注意资源量变化的影响，那么被巩固进入视觉工作记忆的表征本身就与经过完整知觉编码形成的表征存在差异，影响任务成绩。因此，我们需要继续操控注意范围，考察实验 1 中注意资源量的变化是否会影响知觉编码的效率。

3 实验 2：注意范围大小对知觉编码的影响

本实验在 Vogel 等人(2006)使用的带有掩蔽的知觉比较任务的基础上，对注意区域大小进行调控，以测量被试在不同注意范围条件下对阵列中颜色项目的知觉辨别情况。实验中注意区域的划分方法，记忆材料以及掩蔽刺激均与实验 1 相同，任务要求被试先在无掩蔽条件下记住一个目标颜色，然后在包含两个项目的阵列中搜索并判断目标颜色是否出现，搜索阵列的呈现时间为最短巩固时间，并且随后出现掩蔽阵列。实验假设是，被试对于搜索阵列的加工仅需要进行知觉编码后然后直接进行比较判断即可，无需进行巩固加工。因此，如果在最短巩固时间呈现条件下，注意资源量的变化能够影响知觉编码的效率，那么在大注意范围条件下，被试对项目颜色的辨别将出现困难，导致正确率更低，反应时也更长。相反，如果在最短巩固时间呈现条件下，注意资源量影响的是巩固加工过程，那么不同注意范围条件下被试均能够对项目颜色进行准确地辨别，此时不同注意范围内的正确率和反应时均不会出现显著差异。因此，本实验中注意范围(小，大)为自变量，行为指标正确率和反应时为因变量。

3.1 研究方法

3.1.1 被试

30 名被试(女性 21 名，男性 9 名)，均为辽宁师范大学的本科生或研究生，平均年龄 22.2 岁。所有被试知情并自愿加入本实验，视力或矫正视力正常且无色觉障碍，实验后给予报酬。

3.1.2 实验材料

主要仪器设备，刺激材料，掩蔽刺激，程序背景，刺激呈现的位置及两个项目之间距离均与实验 1 相同。同样本实验只分析当记忆项目呈现在视角直径为 8°圆周上(两个项目之间的空间距离为 6.4°)的情况。

3.1.3 实验程序

实验 2 刺激呈现阈限测定的程序与实验 1 完全相同。实验 2 主任务流程如图 3 所示，每个试次都会在背景中央位置呈现一个灰色(195，195，195)的中央注视点(“+”) 300 ms，之后在屏幕的中央呈现一个色块 500 ms，为该试次中的记忆色块。500 ms 的空屏后呈现搜索阵列，其中包括两个颜色不同的刺激项目，呈现时间为 MT (由刺激呈现阈限的程序测定，测量方式同实验 1)。接着呈现 100 ms 的掩蔽刺激，其数量及位置与搜索阵列中项目相同。随后呈现 2000 ms 的判断界面或直至被试做出反应后消失。被试的任务是判断记忆色块的颜色是否在搜索阵列中出现，分别按键进行反应，其中目标颜色是否出现各占整个实验的 50%。两个试次之间有 500 ms 的空屏。每一个实验试次中，除了判断界面，均有划分记忆项目呈现区域的背景圆呈现(如图 3)。整个实验过程中被试需要紧盯中央注视点，同时要

求被试在保证正确率的前提下进行反应, 对反应速度不做任何要求。

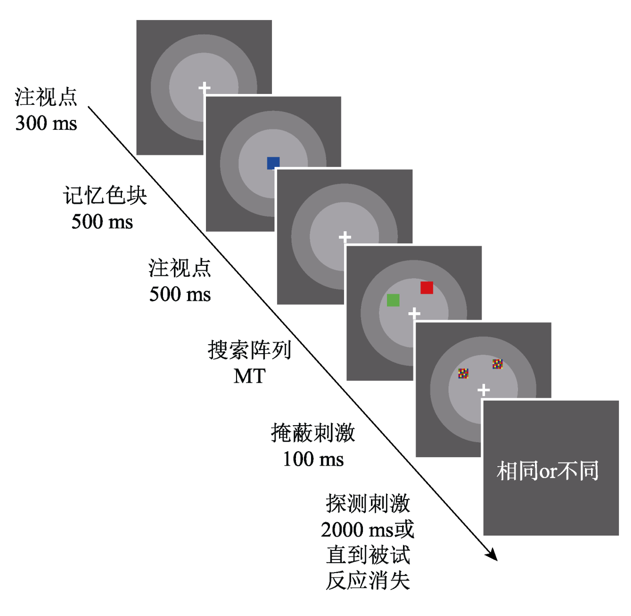


图 3　实验 2 主任务流程图

实验为单因素(注意范围: 小, 大)的被试内设计。不同注意范围分 block 进行, 实验中各个条件的顺序在被试间进行平衡。被试在不同的注意范围内各完成 16 个试次的练习实验, 以确保了解并熟悉实验流程但不计入最后统计分析。之后共完成 4 个 block 的实验(两个注意范围内的实验各 2 个 block), 每个 block 包括 64 个试次, 每个条件 128 个试次。

3.2　结果与讨论

搜索阵列的平均呈现时间为 60 ms (范围为 20~120 ms, SD = 26 ms)。对被试在各个条件下的反应正确率和反应时分别进行配对 t 检验。结果发现被试反应的正确率在不同大小的注意范围间并无显著差异(大范围: M = 0.87, SD = 0.13; 小范围: M = 0.87, SD = 0.12; $t(29)$ = 0.20, p = 0.845); 反应时在不同大小的注意范围间并无显著差异(大范围: M = 279.10 ms, SD = 86.03; 小范围: M = 271.58 ms, SD = 86.83; $t(29)$ = 1.21, p = 0.24)。

根据实验假设, 该结果表明被试能够准确地对不同注意范围内项目的颜色做出辨别, 注意资源量的变化对知觉编码的效率并未产生影响。说明实验 1 中, 在较大注意范围条件下, 被试反应正确率的降低并非由于注意资源量改变对知觉编码的影响, 即注意范围变化所引起的注意资源量变化影响的是巩固的概率。由此得出, 虽然扩大注意范围会使巩固正确率降低, 但是并不影响颜色信息的巩固容量。

4　讨论

本研究利用大小同心圆控制被试的注意范围, 从而调控分配到单个项目上的注意资源量, 探究分配在记忆项目上的注意资源量对视觉工作记忆巩固容量的影响。实验 1 结果表明, 当注意范围较广、单位面积注意资源分配较少时, 会引起正确率下降; 但同时呈现条件和序列呈现条件的正确率没有显著差异, 表明对注意范围的调控不影响颜色信息的巩固容量。实验 2 结果表明, 注意范围的改变不影响简单知觉任务的正确率和反应时, 表明注意范围变化所引起注意资源量分配的变化不影响早期的知觉编码过程。该结果也符合知觉编码过程与巩固加工过程具有独立性这一观点(Vogel et al., 2006; Chen & Wyble, 2015; 2016)。综合实验 1 和实验 2 的结果, 我们认为分配在记忆项目上的注意资源量的降低会导致记忆任务成绩降低, 但却不会影响巩固容量。

在通过实验 2 排除了注意范围影响知觉编码的可能性后, 实验 1 结果中注意范围的主效应只能是来自于记忆项目上分配到的注意资源量变化对巩固过程的影响。在以往的记忆巩固研究中, 关于知觉表征如何被巩固进入视觉工作记忆系统存在两种假设。一种是全或无巩固假设, 即在巩固过程中, 项目信息或者在某个固定精度下被巩固进入记忆系统中, 或者不被巩固。巩固过程持续的时间将只能影响巩固的概率, 巩固时间越长, 巩固进入到记忆系统中的概率越高(Cowan, 2001)。另一种是渐进式巩固假设, 即项目信息被逐渐巩固进入记忆系统中, 巩固时间越长, 记忆表征的精度越高(Bays & Husain, 2008)。本实验并没有打算对两个假设进行明确区分, 并且两个假设都可以合理解释实验 1 的结果。根据全或无假设, 大注意范围内, 单位面积上注意资源量的分配较少导致巩固概率的降低, 造成记忆正确率的下降。而根据渐进式巩固假设, 单个项目上分配到注意资源量降低, 导致在最短巩固时间内, 巩固进入记忆系统的记忆表征的精度降低。两种解释均表明, 注意资源量的减少降低了巩固的效率, 但不降低巩固容量。

值得注意的是, 在李腾飞等人(2017)的研究中, 发现巩固容量降低的两个项目间距是 11.1°视角, 而在本研究中分析的是 6.4°视角。因此, 当前实验没有发现注意范围影响巩固容量的原因, 很可能是因为在大注意范围条件下, 单个项目所分配到的注

意资源量降低的程度不够，不能达到影响巩固容量的阈限。但正如我们在前言中所分析的，李腾飞等人(2017)的实验实际上没有调控注意范围，被试用于巩固加工的注意资源在不同距离条件下并没有变化。这一点可以通过序列呈现条件下的任务正确率来证实。在他们的研究中，不同距离条件下序列呈现的正确率没有显著差异，且都接近 80%。这表明在所有距离条件下，注意资源始终是充足且没有变化的。在本研究中，首先我们使用大小同心圆明确划分了注意范围，发现序列呈现条件的正确率只在小注意范围条件下接近于 80%，在大注意范围条件下则显著降低。这表明在大范围条件下单个项目所分配的注意资源量被有效降低，导致对记忆巩固产生影响；其次在指定的范围内，项目出现的虚拟圆周大小随机，保证被试的注意资源均匀地分配在指定区域内；最后，两个项目始终处于同一虚拟圆周，保证随着注意范围的变化，分配在两项上的注意资源量始终相等并且同步变化。因此，尽管李腾飞等人(2017)的研究采用了较大的项目间距，但是其用于加工任务的注意资源是充足的且分配在单个项目上的注意资源量可能并没有发生变化，因此可以排除其结果是由于单个项目上分配到的注意资源量的降低影响巩固容量的可能性。

此外，Rideaux 和 Edwards (2016)以及 Rideaux, Baker 和 Edwards (2018)的结果表明并行巩固两个项目时记忆精度会显著下降。按照这一逻辑，在本实验中同步呈现条件下的行为成绩将低于序列呈现下的行为成绩，这与本实验结果相矛盾。我们分析，产生差异的原因可能是，Rideaux 和 Edwards (2016)与 Rideaux 等人(2018)的实验结果在一定程度上受到了实验材料的影响，在他们的实验中，所有的颜色刺激随机地取自一个360°的色轮，但任意两个记忆项目的最小偏差不小于 15°，这种设置存在许多试次中两个项目相似性较高的可能。同时呈现的两个相似性较高的颜色项目之间将可能在知觉编码时产生干扰，造成颜色表征产生偏差，这种偏差将可能在数据拟合中，增加记忆值与实际记忆值的偏离程度，从而导致虚假的记忆精度下降现象(Rideaux & Edwards, 2016; Rideaux et al., 2018)。在本研究中，我们使用 RGB 值差异明显的 6 种颜色，有效避免了刺激材料相似性对于巩固过程的干扰。该推论也可以从 Miller 等人(2014)的研究结果中得到支持。Miller 等人(2014)使用与 Rideaux 相同的掩蔽回忆报告范式，但选取了差异较大的颜色材料(最小偏差 45°)，结果并没有发现同时呈现条件下项目的记忆精度会显著降低(Miller et al., 2014)。

5 结论

本研究在同时–序列范式的基础上，通过操控注意范围的大小，探究分配在记忆项目上的注意资源量的变化对巩固容量的影响。实验结果表明，分配在记忆项目上注意资源量的减少会降低视觉工作记忆巩固的效率，但不影响巩固容量。

参 考 文 献

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences, 4*(11), 417–423.

Baddeley, A. (2012). Working memory: Theories, models, and controversies. *Annual Review of Psychology, 63*, 1–29.

Bays, P. M., & Husain, M. (2008). Dynamic shifts of limited working memory resources in human vision. *Science, 321*(5890), 851–854.

Becker, M. W., Miller, J. R., & Liu, T. (2013). A severe capacity limit in the consolidation of orientation information into visual short-term memory. *Attention, Perception, & Psychophysics, 75*(3), 415–425.

Chen, H., & Wyble, B. (2015). Amnesia for object attributes: Failure to report attended information that had just reached conscious awareness. *Psychological Science, 26*(2), 203–210.

Chen, H., & Wyble, B. (2016). Attribute amnesia reflects a lack of memory consolidation for attended information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 42*(2), 225–234.

Chun, M. M., & Potter, M. C. (1995). A two-stage model for multiple target detection in rapid serial visual presentation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 21*(1), 109–127.

Cousineau, D. (2005). Confidence intervals in within-subject designs: A simpler solution to Loftus and Masson's method. *Tutorials in Quantitative Methods for Psychology, 1*(1), 42–45.

Cowan, N. (2001). The magical number 4 in short-term memory: A reconsideration of mental storage capacity. *Behavioral & Brain Sciences, 24*(1), 87–114.

Eriksen, C. W., & James, J. D. S. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception Psychophysics, 40*(4), 225–240.

Gao, W. B., Luo, Y. J., Wei, J. H., Peng, X. H., & Wei, X. (2002). ERP study on scale of visual spatial attention with fixed cues. *Acta Psychologica Sinica, 34*(5), 1–6.

[高文斌，罗跃嘉，魏景汉，彭小虎，卫星. (2002). 固定位置区域提示下视觉注意范围等级的 ERP 研究. *心理学报, 34*(5), 1–6.]

Hao, R., Becker, M. W., Ye, C., Liu, Q., & Liu, T. (2017). The bandwidth of VWM consolidation varies with the stimulus feature: Evidence from event-related potentials. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance,*

44(5), 767–777.
Huang, L., & Pashler, H. (2007). A boolean map theory of visual attention. *Psychological Review, 114*(3), 599–631.
Jolicoeur, P., & Dell'acqua, R. (1998). The demonstration of short-term consolidation. *Cognitive Psychology, 36*(2), 138–202.
Li, T. F., Ma, N., Hu, Zh. H, & Liu, Q. (2017). Effects of spatial distance on visual working memory consolidation. *Acta Psychologica Sinica, 49*(6), 711–722.
[李腾飞, 马楠, 胡中华, 刘强. (2017). 空间距离对视觉工作记忆巩固的影响. *心理学报, 49*(6), 711–722.]
Liu, T., & Becker, M. W. (2013). Serial consolidation of orientation information into visual short-term memory. *Psychological Science, 24*(6), 1044–1050.
Mance, I., Becker, M. W., & Liu, T. (2012). Parallel consolidation of simple features into visual short-term memory. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance, 38*(2), 429–438.
Miller, J. R., Becker, M. W., & Liu, T. (2014). The bandwidth of consolidation into visual short-term memory (VSTM) depends on the visual feature. *Visual Cognition, 22*(7), 920–947.
Potter, M. C. (1976). Short-term conceptual memory for pictures. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory, 2*(5), 509–522.
Rideaux, R., Baker, E., & Edwards, M. (2018). Parallel consolidation into visual working memory results in reduced precision representations. *Vision Research*, 149, 24–29.
Rideaux, R., & Edwards, M. (2016). The cost of parallel consolidation into visual working memory. *Journal of Vision, 16*(6), 1–1.
Scharff, A., & Palmer, J. (2008). Distinguishing serial and parallel models using variations of the simultaneous-sequential paradigm. *Journal of Vision, 8*(6), 981–981.
Scharff, A., Palmer, J., & Moore, C. M. (2011a). Evidence of fixed capacity in visual object categorization. *Psychonomic Bulletin & Review, 18*(4), 713–721.
Scharff, A., Palmer, J., & Moore, C. M. (2011b). Extending the simultaneous-sequential paradigm to measure perceptual capacity for features and words. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance, 37*(3), 813–833.
Song, W., Gao, Y., & Luo, Y. (2004). Early scale effect and hemisphere superiority on the visual spatial attention: From the electrophysiological evidence of ERP. *Progress in Natural Science, 14*(10), 875–879.
Sperling, G. (1960). The information available in brief visual presentations. *Psychological Monographs: General and Applied, 74*(11), 1–29.
Sun, H. M. & Fu, X. L. (2011). Mechanism of visual working memory consolidation: Vulcanization or recession? *Advances in Psychological Science, 19*(11), 1605–1614.
[孙慧明, 傅小兰. (2011). 视觉工作记忆巩固机制: 固化抑或衰退. *心理科学进展, 19*(11), 1605–1614.]
Vogel, E. K., Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2006). The time course of consolidation in visual working memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception & Performance, 32*(6), 1436–1451.

The effects of the attention resource allocation on visual working memory consolidation process

ZHANG Di; HAO Renning; LIU Qiang
(*Research Center of Brain and Cognitive Neuroscience, Liaoning Normal University, Dalian* 116029, *China*)

Abstract

Visual working memory (VWM) consolidation refers to the process of transforming a fleeting sensory representation into a relatively durable VWM representation which could be maintained briefly. It plays an important role in the process of visual information. In recent years, researchers have begun to shift the research focus from the time course of consolidation process to the consolidation capacity. They have found that consolidation capacity not only depends on the number of items which could be consolidated at the same time, but could be also affected by the allocation of attention resources caused by spatial scale. However, the simultaneous-sequential paradigm used in previous studies might be interfered with by some extraneous variables, such as the location of stimulus presentation, resulting in the inconsistent results of VWM consolidation studies.

In Experiment 1, two masked colored patches (targets) were briefly presented (either simultaneous or sequential) within a virtual large circle (10° to 15° but 50% at 8°) or a virtual small circle (5.2° to 7.9° but 50% at 8°), and each condition was presented in different blocks of trials. Following the targets, a blank screen preceded the onset of a colored probe. Participants were asked to memorize the targets frames and indicate by a

button press whether the probe was the same as any one of the targets. The results show that no difference was found between sequential and simultaneous presentation conditions, while the performance for small circle presentation was better than that for large circle presentation. These results correspond with previous studies and suggest that the variation of attention scope has no impact on the consolidation capacity.

In Experiment 2, a colored target was presented, follow by two masked colored patches. Participants needed to judge if the target matched any of the masked colored patches. The variation of presentation scope was identical to that of Experiment 1. The results show no significant difference between the large and small attention scope condition.

These results show no evidence for the effect of attention scope on the perceptual process and suggest that attention resource allocation caused by attention scope could affect the probability of VWM consolidation, but it does not influence the consolidation capacity.

Key words visual working memory consolidation; parallel process; serial process; attention scope; consolidation capacity